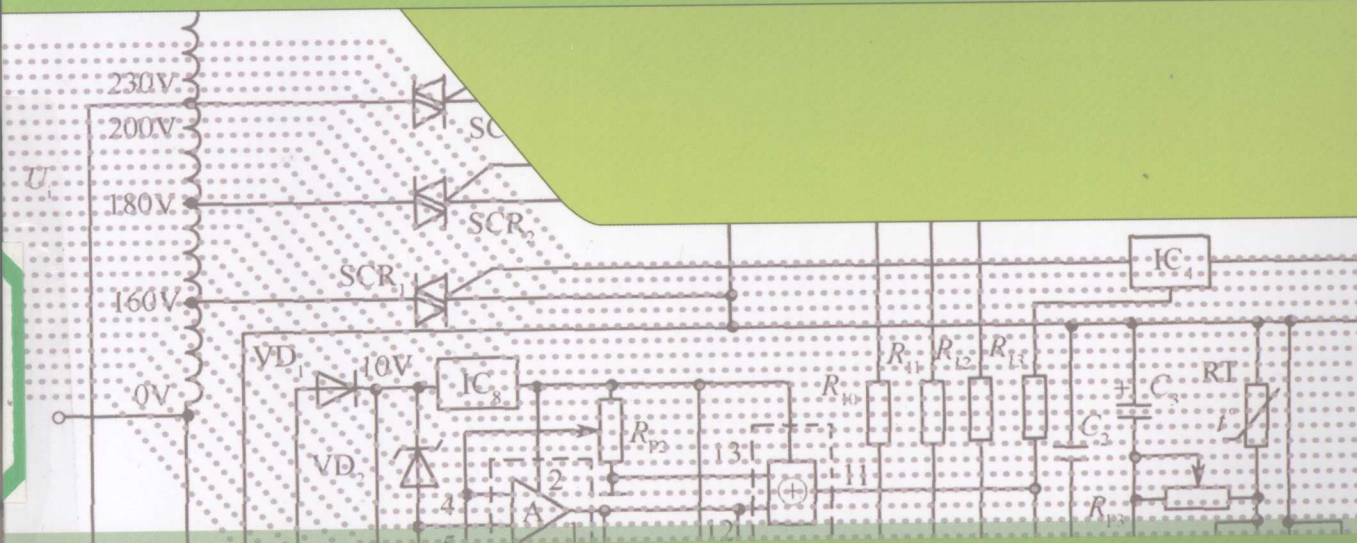


# 线性功率 集成电路 原理与应用

陈永真 编著

XIANXING GONGLV JICHENG DIANLU  
YUANLI YU YINGYONG



# 线性功率集成电路原理与应用

陈永真 编著



机械工业出版社

在电子电路设计中,线性功率集成电路是最常用的器件。如何正确理解和充分利用线性功率集成电路的特性,以获得最佳的性能价格比。在书中有详细的介绍。

本书对线性集成稳压器和集成功率放大器的特性、应用时需要注意的事项、应用实例与应用技巧均作了详尽的阐述。其中,线性集成稳压器和集成功率放大器的特殊应用是作者多年实践经验的部分总结,有抛砖引玉之功效。

本书的读者主要为电气与电子工程师、科研人员、电类各专业以及与电容器相关的高校/职业学校学生和教师、电子技术爱好者、电子技术初学者。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

线性功率集成电路原理与应用/陈永真编著. —北京:机械工业出版社, 2009.4

ISBN 978-7-111-26256-5

I. 线… II. 陈… III. 线性集成电路 IV. TN431.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020217 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:林春泉 责任校对:姜 婷

封面设计:鞠 杨 责任印制:乔 宇

北京四季青印刷厂印刷 (三河市兴旺装订厂装订)

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.75 印张·339 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-26256-5

定价: 31.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379059

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

集成电路是电子电路设计中应用最多的器件，如何选择、用好集成电路，特别是在一些有特殊要求的情况下，能采用集成电路解决问题是非常重要的选择。由集成电路构成的电子电路在工作与调试时可能出现的问题以及产生问题的原因和在电路原理上应如何理解产生问题的原因等方面的内容，往往在现有的文献中不容易找到，在高校的电子技术基础教材中也很少有介绍。为此，作者通过本书，将自己对集成电路的理解和应用经验与广大读者分享。

线性功率集成电路是指需要承受和输出比较大的电流和功率的线性集成电路。在线性功率集成电路中主要有：线性集成稳压器和线性集成功率放大器。

线性稳压电路是采用分立元器件还是采用线性集成稳压器现在似乎已经没有争论了，当然是采用线性集成稳压器。其原因是此类产品价格低廉、功能齐全、电路极其简单。

在设计中，应把价格放在第一位。任何电子电路都要讲究成本的，成本过高而不能实用，最经典的例子就是 *Motorola* 的铱星。远在 20 世纪 50 年代末，线性集成稳压器的价格在十余元甚至几十元时，分立元器件的线性稳压电路当然在设计中得到普遍采用。现在的集成稳压器的价格已经达到性能参数相同的晶体管的价格。加上外围电路，采用分立元器件构成的线性稳压电路的成本肯定比线性集成稳压器高许多。这是线性集成稳压器能够被大量应用的最主要原因。

功能齐全是电子电路所追求的。线性集成稳压器的稳压性不仅能优于大多数分立元器件构成的线性稳压电路，更重要的是线性集成稳压器所具有的热保护、安全工作区性能在分立元器件的线性稳压电路中很难真实地实现，特别是热保护功能。正因为如此，只要电路接线正确，在没有过电压的情况下，即使是输出端长期过电流/短路也不会烧坏线性集成稳压器。这对于仅仅具有减流式过电流保护的分立元器件构成的线性稳压电路是不可想象的。不仅如此，线性集成稳压器的性能稳定也是不可忽视的优势。

电子电路的设计追求简洁至上，电路越简单可靠性越高，附加成本也越低。最简单的线性集成稳压器仅需要两个旁路电容器即可；另一个优点就是免调试，类似于“傻瓜”型器件。

只要有电子电路就必然有稳压电路，很显然，选用集成稳压器是最简单、最便宜的解决方案。但是集成稳压器到底具有什么样的性能？输出短路、散热器选小了会不会烧坏集成稳压器？怎样选择集成稳压器来满足应用要求？如果需要正、负跟踪电源应该如何实现？集成稳压器还能有什么其他的用途？读者

会在本书的相关章节中找到相应的答案。在构成电子电路的诸多元器件中，作者对集成稳压器了解最深、使用得最多，因此对于集成稳压器的论述和应用实例也最多，读者可以看到很多很实用的应用实例。

同样的道理，如果集成功率放大器不仅价格低于分立元器件构成的音频功率放大器，而其性能也优于分立元器件构成的音频功率放大器时，大多数人肯定会选择集成功率放大器。

经过几十年的不懈努力，集成功率放大器的性能已经达到炉火纯青的高效，在输出功率、带宽、失真度还是动态响应等方面均远远超过分立元器件或组合电路构成的功率放大器。不仅如此，从小功率的耳机放大器到 100W 级的功率放大器，线性集成功率放大器都可以简单实现；工作电压可以在 5V 时驱动  $8\Omega$  负载，在没有变压器的条件下，输出功率可达 2W，这对于分立元器件构成的功率放大器是不可想象的。

完善的保护功能是线性集成功率放大器优于分立元件构成的功率放大器，线性集成功率放大器可以有效地实现过热保护、安全工作区保护、瞬态过功率保护。这对于分立元器件构成的功率放大器来说是几乎不可能的。

集成功率放大器通常只作为音频功率放大器用。但是，怎样用好用巧恐怕很少有人研究，读者是否想过：将集成功率放大器用作功率运算放大器或替代外加扩流电路的集成运算放大器电路可能会得到更好的效果；是不是还可以用集成功率放大器作为程控直流稳压电源；如何提高集成功率放大器的输出电压和功率；用集成功率放大器实现电压电流变换器等这些值得探索的问题。

集成功率放大器、集成稳压器为什么会自激振荡？如何分析与消除自激振荡，在本书的第 7 章中作了详尽的分析。

在本书中，有很多的新、奇、特的应用实例和设计思想，这些都是本书作者多年积累的设计经验与教训的结晶。若读者能够通过阅读本书从中得到收益将是作者的极大荣幸。

在本书的编著过程中对我的研究生熊飞、闫晓金、李国、耿俊庆、潘艳、王春霞所作的工作表示感谢。

作者

2009 年 2 月

于辽宁工业大学

# 目 录

## 前言

第 1 章 集成稳压器的原理与基本性能分析	1
1.1 线性集成稳压器简介	1
1.2 通用集成电路命名方法	2
1.3 线性集成稳压器的基本原理	2
1.3.1 78 × × 系列固定正电压输出的集成稳压器	2
1.3.2 79 × × 系列固定负电压输出的集成稳压器	6
1.3.3 117/217/317 系列可调正电压输出的集成稳压器	8
1.3.4 137/237/337 系列可调负电压输出的集成稳压器	10
1.3.5 LM337 系列的外形与引脚定义	12
1.3.6 低输入、输出电压差集成稳压器	12
1.4 集成稳压器的基本特性与电参数分析	14
1.4.1 极限参数	14
1.4.2 工作温度范围	15
1.4.3 热特性	15
1.4.4 输出电压与输出电压的温度系数	16
1.4.5 电源电压调整率	19
1.4.6 负载效应	20
1.4.7 静态电流和调整端电流	21
1.4.8 静态电流和调整端电流变化范围	22
1.4.9 最小输出电流	22
1.4.10 纹波电压抑制比	26
1.4.11 动态响应	28
1.4.12 输出阻抗	31
1.4.13 最小输入、输出电压差与结温的关系	32
1.4.14 输出噪声电压	34
1.4.15 短路电流限制值与输出峰值电流	34
1.5 带有电压检测及遥控关闭端的集成稳压器	36
1.5.1 CS5253 系列 5 端集成稳压器简介	36
1.5.2 CS5253 系列 5 端集成稳压器性能分析	38
1.5.3 CS5253B—8 系列 5 端固定输出电压集成稳压器性能分析	46
第 2 章 集成稳压器的应用	49
2.1 通用集成稳压器的典型应用	49
2.1.1 固定输出电压集成稳压器的典型应用	49
2.1.2 可调输出电压集成稳压器的典型应用	49



2.1.3	低电压差集成稳压器及其应用	50
2.2	集成稳压器应用时需要考虑的问题	51
2.2.1	纹波抑制能力的改善与旁路电容器	51
2.2.2	输出电压精度	54
2.2.3	输入电压的选择	55
2.2.4	布线方式造成的负载效应与减小措施	57
2.2.5	反向电压保护	58
2.2.6	工作温度	58
2.2.7	散热、安装方式与绝缘	58
2.2.8	最小负载电流	60
2.2.9	输入端与输出端电压、输出端与调整端的反极性保护	61
2.3	集成稳压器的扩展应用	61
2.3.1	集成稳压器的扩流	61
2.3.2	跟踪电源	64
2.3.3	可调稳压电路	66
2.3.4	高压输入的解决方案	68
2.3.5	高输出电压的解决方案	69
2.3.6	集成稳压器的关闭与缓启动	72
2.3.7	多路解决方案	73
2.3.8	高精度线性稳压电路	74
2.4	集成稳压器应用实例	75
2.4.1	电子电能表 5V/0.2A 供电电源	75
2.4.2	5V/3A 线性稳压电源	76
2.4.3	5V/10A 线性稳压电源	80
2.4.4	$\pm 15\text{V}/0.5\text{A}$ 线性稳压电源	82
2.4.5	数字控制的 0V~25V/1A 可调稳压电源	84
2.5	带有控制端和输出电压检测端的集成稳压器的应用	89
2.5.1	采用 CS5253—1 的稳压电路	89
2.5.2	采用 CS5253—8 的 5V 输出的稳压电路	90
<b>第 3 章</b>	<b>集成稳压器作为恒流源的应用</b>	<b>91</b>
3.1	作为恒流源应用的集成稳压器的选择与分析	91
3.2	集成稳压器作为恒流源应用的一般方法	92
3.3	恒流值的调节	92
3.3.1	恒流值的调节原理	92
3.3.2	问题及解决方案	94
3.4	带有限压功能的恒流源的实现	95
3.4.1	National 公司推荐的解决方案	95
3.4.2	改进的调电压、调电流的解决方案	95
3.5	数控电流源	97
3.5.1	2005 年全国大学生电子设计竞赛中的数控电流源	97



3.5.2	实际可用的解决方案	100
3.6	恒流型电子负载	102
3.6.1	电压控制的电流模拟电路	102
3.6.2	恒流型电子负载简介	102
3.7	数控恒流型电子负载的实现	103
3.7.1	基本思路	103
3.7.2	实现方法	103
3.8	利用集成稳压器替代恒流二极管	104
3.9	利用集成稳压器的限流特性和稳压特性构成蓄电池充电器	105
3.10	利用 LM317 构成低成本开关稳压器	106
<b>第 4 章</b>	<b>集成功率放大器基本性能分析</b>	<b>107</b>
4.1	集成功率放大器的基本性能	107
4.1.1	差分输入的差分放大器	108
4.1.2	差分放大器的双端变单端输出的双端变单端电路	108
4.1.3	中间放大级	108
4.1.4	功率输出级及其偏置电路	108
4.1.5	相位补偿电路	109
4.1.6	过电流保护与过功率保护	109
4.1.7	过热保护	109
4.2	集成功率放大器的技术指标	110
4.3	集成功率放大器的性能曲线分析	113
4.3.1	稳定性与单位增益带宽性能分析	113
4.3.2	电源电压抑制比性能分析	114
4.3.3	共模电压抑制比性能分析	115
4.3.4	安全工作区性能分析	115
4.3.5	输出功率与效率的分析	117
4.4	常用集成功率放大器分析	118
4.4.1	耳机放大器	118
4.4.2	1~2W 集成功率放大器	128
4.4.3	从 TDA2002 到 TDA2030、TDA2030A 看通用集成功率放大器的进步	131
4.4.4	大功率集成功率放大器	139
4.4.5	LM12 集成功率运算放大器的原理与性能分析	153
<b>第 5 章</b>	<b>集成功率放大器的典型应用</b>	<b>160</b>
5.1	OTL 功率放大器的基本实现方法	160
5.1.1	OTL 功率放大器的典型应用电路	160
5.1.2	对元器件性能的要求	161
5.1.3	OTL 功率放大器典型应用电路的电路板图设计	162
5.1.4	元件参数的改变对电路工作状态的影响	163
5.1.5	电源的设计	163
5.2	OCL 功率放大器的基本实现方法	164





5.2.1	用 TDA2030 实现的 OCL 功率放大器的典型应用电路	165
5.2.2	元件参数的改变对电路工作状态的影响	165
5.2.3	变压器与整流滤波电路元器件的选择与性能分析	165
5.2.4	OTL 与 OCL 电路参数的差异分析	167
5.2.5	用 TDA2030 与 TDA2030A 构成的功率放大器电路性能的差异	167
5.3	高功率输出的 OCL 功率放大器	168
5.3.1	应用 LM3886 构成的高功率放大器	169
5.3.2	应用 LM4780 构成的高功率放大器设计	170
<b>第 6 章 集成功率放大器的特殊应用</b>		176
6.1	集成功率放大器输出功率的扩展问题	176
6.2	利用双极晶体管扩展输出功率	176
6.3	BTL 电路的原理分析与设计	178
6.3.1	BTL 功率放大电路原理分析	178
6.3.2	为什么要采用 BTL 功率放大电路	179
6.3.3	BTL 功率放大电路设计	179
6.4	功率放大器采用差动放大器解决方案的可行性分析及实现	180
6.5	集成功率放大器的并联	181
6.6	其他并联工作方式	187
6.7	集成功率放大器输出电压的倍增	188
6.8	集成功率放大器应用时的电源旁路问题	189
6.9	大电容负载的解决方案	190
6.10	集成功率放大器用作功率运算放大器	191
6.11	利用集成功放实现稳压电源	191
6.11.1	集成功率放大器工作在直流耦合时的静态输出电压的调零	192
6.11.2	利用集成功率放大器实现线性稳压电源	193
6.11.3	利用集成功率放大器实现程控电源	194
6.11.4	利用集成功率放大器实现跟踪电源	194
6.12	电压电流变换器	195
6.12.1	电路基本框架的考虑	195
6.12.2	电路设计实例与分析	195
6.12.3	可能出现的问题及解决方法	197
<b>第 7 章 在实际应用中可能遇到的问题及解决问题的思路</b>		198
7.1	自激振荡产生的原因	198
7.1.1	自激振荡的实质	198
7.1.2	自激振荡现象的简单识别方法	199
7.1.3	通过自激振荡对电路工作状态影响的识别	200
7.2	消除自激振荡产生的思路	201
7.3	通过集成功率放大器相位补偿电路消除自激振荡	202
7.4	通过“反馈部分”消除自激振荡	203
7.4.1	外部附加相移的产生	203



7.4.2 输入电容引起的自激振荡的解决方法 .....	204
7.4.3 负载电容引起附加相移的补偿方法 .....	205
7.5 其他消除自激振荡的方法 .....	206
7.5.1 电源阻抗问题 .....	206
7.5.2 接地点问题 .....	208
7.6 电抗性负载 .....	208
7.7 集成功率放大器的散热及结构设计 .....	208
参考文献 .....	210

# 第 1 章 集成稳压器的原理与基本性能分析

电子电路需要稳定的电源供电，而直接使用如电池、交流电网经过变压/整流后等供电方式的电源，会因电源电压的波动而不能满足要求。因此，电子电路的供电需要稳压器将电源电压稳定。稳定电压的方式可以是开关模式稳压，也可以是线性稳压电源稳压。从电路的简单性、廉价性以及设计应用方便的角度考虑，线性稳压电路是较好的解决方案。

在线性稳压电路中，集成稳压器是最简单的解决方案。原因很简单，集成稳压器仅仅需要 3 个引脚，外接元件也仅仅是输入旁路电容器和输出旁路电容器，集成稳压器的电路最简单，几乎不需要调试。

集成稳压器的价格也是最便宜的，输出电流为 1~1.5A 的固定正电压集成稳压器在北京电子市场的零售价，可以达到每只 0.7~0.8 元，比较贵的可调节电压输出的集成稳压器也只有每只 1~2 元。负输出电压的集成稳压器稍贵一些。

## 1.1 线性集成稳压器简介

最常见的线性集成稳压器主要可以分为两种：线性集成稳压控制器和线性集成稳压器，如常见的 LM723、UC3832、UC3833 等。这些线性集成稳压控制器没有线性稳压电源所必需的输出电压调整管，它的功能主要是完成基准电压源、误差放大器、过电流保护、输出电压调整管的驱动。最终输出电压的调整、稳定所必需的电压调整管是可外接的，既可使用双极型功率晶体管，也可以使用功率 MOSFET。线性集成稳压控制器的最大特点是电路灵活，可以方便地构成不同输出电压、功率、极性的线性稳压电源。然而，线性集成稳压控制器与大功率晶体管构成的线性稳压器的缺点是电路比三端集成稳压器复杂。

线性集成稳压器将稳压电路的全部功能集成在一个芯片上或封装在同一管壳中。线性集成稳压器最常见的形式为三端集成稳压器，即仅仅需要 3 个引脚。三端集成稳压器的型号是通用的，无论哪个生产厂商除标志厂商的前缀外，后面的数码与字符均具有相同含义，且电路性能也是基本相同的。如固定正电压输出的  $78 \times \times$ ，78 为固定正电压输出，后面的数码  $\times \times$  为输出电压值；固定负电压输出的  $79 \times \times$ ，79 为固定负电压输出，后面的数码  $\times \times$  为输出电压值；可调节电压输出的 117/217/317 系列和负电压/可调负电压输出的 137/237/337 系列。三端集成稳压器的另一个优点是其电路本身具有过电流保护、过热保护以及安全工作区限制等线性集成稳压器所必备的保护功能。也就是说，只要不出现过电压击穿、极性反接、引脚接错等情况，“三端”集成稳压器是不会烧坏的。这些优异的性能使不具备电源设计知识和能力的工程技术人员（不一定是电子/电气工程技术人员）和电子技术爱好者可以方便地选用。也正因为如此，三端集成稳压器的销售量极大，而价格低廉，例如  $78 \times \times$  在电子市场的零售价每一个约为 1 元左右，购买数十个以上则每个价格可以低于 1 元，而 L 系列三端集成稳压器的价格甚至可以低于 0.5 元/只。

在本书中，为什么将“三端”集成稳压器的三端用引号括起来，其原因是有的集成稳



压器有 4 只引脚甚至 5 只引脚，且都属于同一类型。

## 1.2 通用集成电路命名方法

各集成稳压器生产厂商生产的集成稳压器的命名方法基本相同，除生产厂商的前缀字母外，通常用输出电压极性、输出电压值表示，见表 1-1。

表 1-1 通用集成稳压器的一般命名方法

输出电压/V	5	6	8	9	12	15	18	24
1.5A 正输出	7805	7806	7808	7809	7812	7815	7818	7824
0.5A 正输出	78M05	78M06	78M08	78M09	78M12	78M15	78M18	78M24
0.1A 正输出	78L05	78L06	78L08	78L09	78L12	78L15	78L18	78L24
3A 正输出	78T05	78T06	78T08	78T09	78T12	78T15	78T18	78T24
1.5A 负输出	7905	7906	7908	7909	7912	7915	7918	7924
0.5A 负输出	79M05	79M06	79M08	79M09	79M12	79M15	79M18	79M24
0.1A 负输出	79L05	79L06	79L08	79L09	79L12	79L15	79L18	79L24

除通用的命名方法外，通用集成稳压器还有其他命名方法。最常见的是 LM340 系列，见表 1-2。

表 1-2 ON Semi 公司生产的 LM340 系列集成稳压器命名方法

输出电压/V	5	6	8	12	15	18	24
	LM340—T5.0	LM340—T6.0	LM340—T8.0	LM340—T12	LM340—T15	LM340—T18	LM340—T24

3A 输出电流的 5V 输出的集成稳压器还有一种型号为 LM323，采用 TO—3 封装。

可调电压输出集成稳压器的命名方法见表 1-3。

表 1-3 可调电压输出集成稳压器的命名方法

1.5A 正输出	0.5A 正输出	0.1A 正输出	3A 正输出	1.5A 负输出	0.5A 负输出	0.1A 负输出
317	317 M	317 L	350	337	337M	337L

除通用的命名方法外，输出电压可调集成稳压器还有其他命名方法。最常见可调正电压输出的是 LM350，输出电流为 3A；而 LM338，输出电流可达到 5A。

## 1.3 线性集成稳压器的基本原理

### 1.3.1 78 × × 系列固定正电压输出的集成稳压器

#### 1. 封装形式与引脚功能

78 × × 系列三端集成稳压器的封装形式和引脚功能都是相同的。换言之，除极特殊的应用外，在一般稳压应用中，不同生产厂商的相同输出电压、电流的集成稳压器可以互换，正常应用时不必修改电路。78 × × 系列“三端”集成稳压器的封装形式主要有 TO—220、

D<sup>2</sup>PAK、DPAK、IPAK、TO—92，在贴片电路中，小功率的三端集成稳压器还可以使用 SOT—223 的封装形式；军用电子电路中还有金属封装的 TO—3、TO—66。从应用成本角度看，采用 TO—220、D<sup>2</sup>PAK、DPAK、IPAK、TO—92 封装形式是最佳的选择。因此，在一般的应用中，不采用金属封装的形式。

应用最多的是 TO—220 封装，如果消耗功率比较大，可以安装散热器；D<sup>2</sup>PAK 主要应用于表面贴装电路板，多采用电路板的铜箔作为散热器。

对于 1A 或 1.5A 输出电流的 78 × × 系列三端集成稳压器常见的封装形式有 TO—220、D<sup>2</sup>PAK（见图 1-1）和 TO—3。

0.5A 输出电流的 78M × × 系列三端集成稳压器的封装形式常见的有 TO—220、DPAK、TO—66。

以 ON Semi 公司的 78M × × 为例，器件上的数码标示如图 1-2 所示。

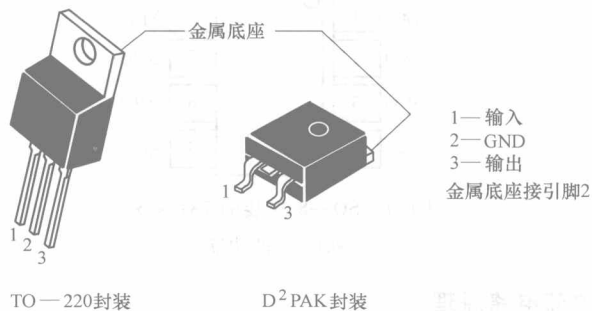


图 1-1 78M × × 系列三端集成稳压器的封装形式

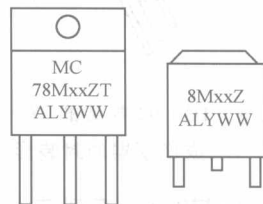


图 1-2 ON Semi 公司的 78M × × 上的数码标示

图 1-2 中器件上的数码分别为：商标，MC 为 Motorola 公司的商标，后来 Motorola 公司将半导体器件生产公司卖给 ON Semi 公司后，商标改为 ON；78 表示固定正电压输出三端集成稳压器；78 之后的 M 表示 500mA 中等电流输出集成稳压器（没有这部分字符则为 1.5A 的正常电流输出的集成稳压器），L 表示 100mA 低电流输出集成稳压器，T 表示 3A 高电流输出集成稳压器，H 表示 5A 输出或更高电流输出集成稳压器；× × 表示输出电压值；其后的字符表示集成稳压器的性能等级，无字符的为一般商业品，输出电压精度为 ±5%。在 ON Semi 公司的集成稳压器中，字符 A 表示输出电压为 2% 的高精度集成稳压器，B 字符则表示输出电压精度为 4%。除了输出电压精度外，这些字符还表示了集成稳压器的其他性能。

最下面的一行字符中，A 为该集成稳压器芯片在晶圆上的位置、L 为晶圆的批次、Y 为出厂年、WW 为出厂月。按 IEC 60062 规定，产品出厂年、月代码见表 1-4。

表 1-4 IEC 60062 规定的电子产品出厂年、月代码

年	代码	年	代码	年	代码	月	代码	月	代码
1990	A	1994	E	1998	K	Jan	1	May	5
1991	B	1995	F	1999	L	Febr	2	June	6
1992	C	1996	H	2000	M	March	3	July	7
1993	D	1997	J	2001	N	April	4	Aug	8

(续)

年	代码	年	代码	年	代码	月	代码	月	代码
2002	P	2005	T	2008	W	Sept	9	Dec	12
2003	R	2006	U	2009	X	Oct	10		
2004	S	2007	V	2010	Y	Nov	11		

0.1A 输出电流的 78L × × 系列三端集成稳压器常见的封装形式有 TO—92，如图 1-3 所示。

78L × × 系列还可以有 SO—8 封装形式，其顶视图的引脚功能如图 1-4 所示。

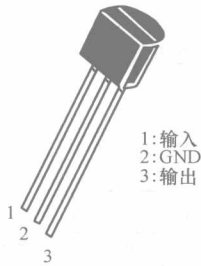


图 1-3 TO—92 封装的 78L × × 系列集成稳压器的封装形式

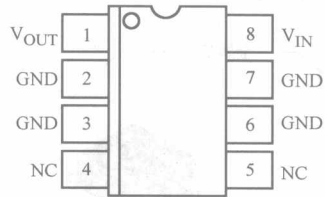


图 1-4 SO—8 封装的 78L × × 系列的引脚功能

## 2. LM78 × × 系列三端集成稳压器的内部电路原理

LM78 × × 系列三端集成稳压器的内部电路原理大同小异，不同的厂商，内部电路略有不同。以美国的 LM78L × × 为例，其内部电路原理如图 1-5 所示。该电路包含启动电路、基准电压电路、取样及误差放大器、输出电压调整管以及各种保护电路。

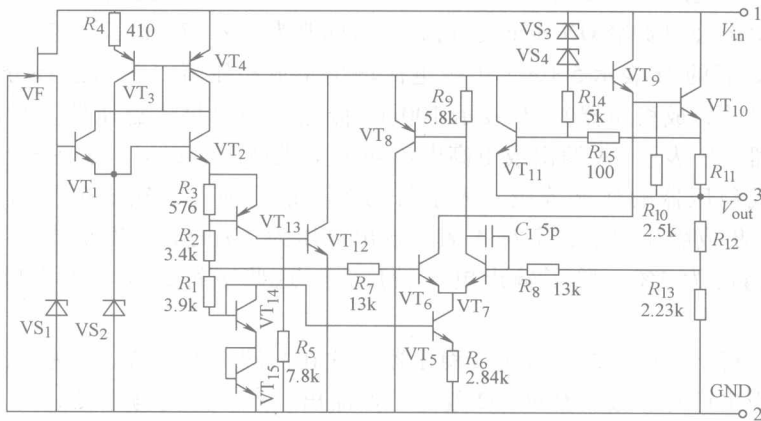


图 1-5 LM78L × × 系列三端集成稳压器的内部电路原理

(1) 启动电路在集成稳压器中，常采用许多恒流源，当输入电压接通后，这些恒流源难以自行导通，以至于使输出电压较难建立。因此，必须用启动电路给恒流源的双极型晶体管 VT<sub>3</sub>、VT<sub>4</sub> 提供基极电流。启动电路由 VF、VT<sub>1</sub>、VS<sub>1</sub> 构成。当输入电压高于稳压管的稳定电压时，电流通过 VF、VT<sub>1</sub>，使 VT<sub>2</sub> 基极获得偏置电流而导通，与此同时 VT<sub>3</sub>、VT<sub>4</sub> 开始工作。VT<sub>3</sub> 的集电极电流通过 VS<sub>2</sub>，并在 VS<sub>2</sub> 上获得到正常工作电压，当 VS<sub>2</sub> 的电压与 VS<sub>1</sub>

的电压相等时, 整个电路进入正常工作状态, 电路的启动过程完成。同时,  $VT_1$  因发射极输出为零而截止, 切断了启动电路与放大电路的联系, 从而保证了  $VT_1$  左边出现的纹波与噪声不致影响基准电压源。

(2) 基准电压电路基准电压电路有  $VT_3$ 、 $VS_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  及  $VT_{14}$ 、 $VT_{15}$  构成, 电路中的基准电压  $V_{REF}$  为

$$V_{REF} = \frac{VS_2 - 3V_{BE}}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot R_1 + 2V_{BE} \quad (1-1)$$

式中,  $V_S$  为  $VS_2$  的稳定电压;  $V_{BE}$  为  $VT_2$ 、 $VT_{14}$ 、 $VT_{15}$  的正向电压值。在电路设计和工艺上使具有正温度系数的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $VS_2$  与具有负温度系数的  $VF$ 、 $VT_{14}$ 、 $VT_{15}$  发射极相互补偿, 可使基准电压  $V_{REF}$  不随温度变化。同时, 对稳压管  $VS_2$  采用恒流源供电, 从而保证基准电压不受输入电压波动的影响。

(3) 输出级、输出电压采样与误差放大器输出级、输出电压采样与误差放大器由  $VT_3 \sim VT_{10}$  构成。其中  $VT_9$ 、 $VT_{10}$  组成达林顿复合连接方式的输出电压调整管, 即输出级;  $R_{12}$ 、 $R_{13}$  组成输出电压采样电路;  $VT_6$ 、 $VT_7$  和  $VT_5$  组成带有恒流源的差分放大器;  $VT_4$ 、 $VT_5$  组成的电流源作为其有源负载。

$VT_8$  及  $R_9$  的作用: 如果没有  $VT_8$ 、 $R_9$ , 恒流源管  $VT_4$  的电流  $I_{C4} = I_{C8} + I_{B10}$ , 当调整管满载时,  $I_{B10}$  最大, 而  $I_{C8}$  最小; 而当输出负载开路时,  $I_O = 0$ ,  $I_{B10}$  将趋近于零, 这时  $I_{C4}$  几乎全部流入  $VT_7$ , 使得  $I_{C8}$  的变化范围变得很大, 这对于误差放大器的稳定工作来说是不允许的, 为此接入由  $VT_8$ 、 $R_9$  构成的缓冲电路。当  $I_O$  减小时,  $I_{B10}$  随之减小,  $I_{C8}$  增加, 当  $I_{C8}$  增加到使  $V_{R9}$  大于  $0.6V$  时,  $VT_8$  开始导通, 其导通增加的程度与  $I_{B10}$  减小几乎一致, 即分流作用。这样就限定了  $I_{C8}$  的变化范围, 使误差放大器的工作处于稳定状态。

(4) 各种保护功能的实现

① 减流式过电流保护电路。

减流式过电流保护电路由  $VT_{11}$ 、 $R_{11}$ 、 $R_{15}$ 、 $R_{14}$  和  $VS_3$ 、 $VS_4$  构成,  $R_{11}$  为输出电流检测电阻。减流式过电流保护电路的目的主要是使输出电压调整管 ( $VT_{10}$ ) 能在安全工作区域内工作, 即它的功耗不超过  $P_{CM}$ 。下面先考虑一种简单的情况。

首先考察限流电路的工作原理, 为了方便分析, 假设图 1-6 中的  $VS_3$ 、 $VS_4$  和  $R_{14}$  不存在,  $R_{15}$  为零。这时, 如果稳压电路工作正常, 即  $P_C$  低于  $P_{CM}$  并且输出电流  $I_O$  在额定值内, 流过  $R_{11}$  的电流使  $V_{R11}$  等于  $I_O R_{11}$  且小于  $0.6V$ ,  $VT_{11}$  截止; 当输出电流急剧增加特别是输出短路时, 输出电流超过限流值, 即在  $R_{11}$  上的电压超过  $0.6V$  时,  $VT_{11}$  导通, 由于其分流作用, 减小了  $VT_9$  的基极电流, 从而使输出电流得到限制。

尽管上述电路非常简单, 但是却存在不能限制调整管的功率损耗在限制值内。在调整管的输入、输出电压差过大时, 常会出现调整管的功率损耗大于额定值而造成调整管的热击穿。为了防止出现这种现象, 限制输出电流在限制值内的同时, 还要同时考虑调整管的  $V_{CE}$  值, 使调整管的功率损耗小于额定值。图 1-6 中的  $VS_3$ 、 $VS_4$ 、 $R_{14}$  和  $R_{15}$  所构成的支路就是为实现上述目的而设置的。电路中如果

$$V_{in} - I_O R_{11} - V_O > VS_3 + VS_4 \quad (1-2)$$

则  $VS_3$ 、 $VS_4$  击穿, 导致  $VT_{11}$  的发射极承受正向电压而导通。此时  $V_{BE12}$  的值为

$$V_{BE12} \approx I_0 R_{11} + \frac{V_{in} - VS_3 - VS_4 - I_0 \cdot R_{11} - V_0}{R_{14} + R_{15}} \cdot R_{15} \quad (1-3)$$

整理后得

$$I_0 = V_{BE12} \cdot \frac{R_{14} + R_{15}}{R_{11} R_{14}} - [(V_{in} - V_0) - VS_3 - VS_4] \cdot \frac{R_{15}}{R_{11} R_{14}} \quad (1-4)$$

显然,  $V_{in} - V_0$  越大, 即调整管的  $V_{CE}$  值越大, 而  $I_0$  越小, 从而使调整管的功率损耗被限制在额定值内。由于  $I_0$  随  $V_{in} - V_0$  的增大而减小, 故称为减流式保护。

## ② 过热保护电路

过热保护电路由  $VS_2$ 、 $VT_2$ 、 $VT_{13}$  和  $VT_{12}$  构成。常温时,  $R_3$  上的电压降仅为 0.4V 左右,  $VT_{13}$ 、 $VT_{12}$  截止, 对电路不起作用。当芯片的温度上升到温度保护点 (如 125°C) 时,  $R_3$  上的电压降随  $VS_2$  工作电压的升高而升高, 而  $VT_{13}$  的发射极电压  $V_{BE14}$  下降,  $VT_{13}$  导通,  $VT_{12}$  也随之导通。调整管  $VT_9$  的基极电流被  $VT_{12}$  所分流, 使输出电流  $I_0$  下降, 最终在芯片的温度达到 170°C 时彻底关闭调整管  $VT_9$ , 从而达到过热保护的目。的。

电路中  $R_{10}$  的作用是给  $VT_9$  的漏电流  $I_{CEO9}$  和  $VT_{10}$  的漏电流  $I_{CEO10}$  提供一条分流支路, 以改善电路的温度稳定性。

### 1.3.2 79 × × 系列固定负电压输出的集成稳压器

与固定正电压输出的 78 × × 系列集成稳压器对应的固定负电压输出的“三端”稳压器为 79 × × 系列集成稳压器。它与 78 × × 系列集成稳压器的极性相反, 如果内部电路仅仅是将所有的 PNP 晶体管改成 NPN 晶体管, 或将所有的 NPN 晶体管改成 PNP 晶体管当然就简单了。但是在集成电路制造中, NPN 晶体管相对非常容易制造, 而 PNP 晶体管则制造困难, 并且其特性又比 NPN 晶体管差。因此, 在集成电路的制造工艺中, 大都采用 NPN 晶体管, 只有在必要时才使用 PNP 晶体管。因此 79 × × 系列集成稳压器的内部电路必将比 78 × × 系列集成稳压器的复杂。

#### 1. 79 × × 系列固定负电压输出的集成稳压器原理

但是无论电路怎样千变万化, 各种集成稳压器的基本结构是相同的, 均由启动电路、电压基准、误差放大器、减流式保护电路、过热保护电路和输出电压调整管等五部分构成。

这里以 ON Semi 公司的 MC79 × × 系列集成稳压器为例, 其内部等效电路如图 1-6 所示。电路由 27 个晶体管、4 个二极管、1 个稳压二极管、25 个电阻以及 2 个电容组成。MC79 × × 系列集成稳压器的电路基本结构与原理如下所述。

(1) 启动电路 启动电路由  $VF$ 、 $VT_1$ 、 $VD_1$ 、 $VD_2$ 、 $VD_3$  构成, 其启动原理与 78 × × 系列集成稳压器的相同, 不再赘述。

$VT_3$ 、 $VT_{12}$ 、 $VT_{14}$ 、 $VT_{15}$  为恒流源, 其中,  $VT_{12}$  向电压基准和过热保护电路提供偏置电流;  $VT_{14}$  为由  $VT_{16}$ 、 $VT_{17}$ 、 $VT_{18}$ 、 $VT_{19}$  构成的共集电极-共基极差动误差放大器的恒流源。

(2) 电压基准 由  $VT_3$ 、 $VT_4$ 、 $VT_5$ 、 $VT_6$ 、 $VT_7$ 、 $VT_8$ 、 $VT_9$  构成的电路为电压基准部分, 是与 78 × × 系列同样功能的带隙基准电压源。对其基本原理不再赘述。

(3) 误差放大器与电平转移由  $VT_{16}$ 、 $VT_{17}$ 、 $VT_{18}$ 、 $VT_{19}$  构成共集电极-共基极差动误差放大器电路,  $VT_{21}$ 、 $VT_{22}$  分别为  $VT_{18}$ 、 $VT_{19}$  的集电极恒流源负载。

如果是 78 × × 系列, 则误差放大器就可以采用共发射极差动误差放大器, 而在 79 × ×



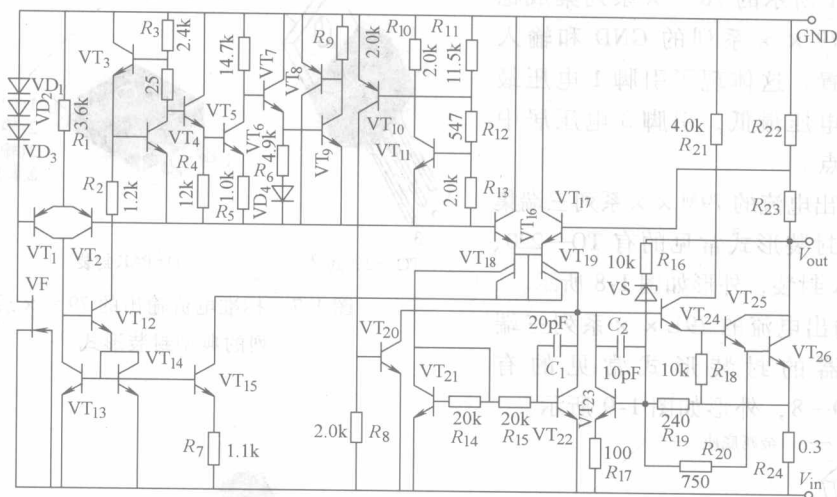


图 1-6 MC79 × × 系列集成稳压器的内部等效电路

系列中，由于其电平和极性与 78 × × 系列不同而不能采用相同的差动误差放大器。在 79 × × 系列中，差动误差放大器不仅要完成误差放大的功能，而且还要实现电平转移的功能。因此，差动误差放大器选用共集电极（射极跟随器）差动误差放大器为第一级，用其产生的差动发射极输出信号驱动两个 PNP 晶体管构成的共基极差动误差放大器，由于共集电极-共基极差动误差放大器的输出端静态工作点电位低于该放大器的输入端静态工作点电位，这样不仅实现了与共发射极差动误差放大器相同的增益，同时也完成了电平的转移。

(4) 减流式过电流保护 短路/过电流限制由  $R_{24}$ 、 $VT_{23}$  构成，当输出电流在  $R_{24}$  的电压达到  $VT_{23}$  的导通电压使  $VT_{23}$  导通， $VT_{23}$  将  $VT_{24}$  的基极电流分流，使输出电流得到限制；安全工作区限制的实现在限流电路的基础上附加  $VS$ 、 $R_{16}$  实现的，其原理与 78 × × 系列的相同，不再赘述。

(5) 过热保护电路 过热保护电路由  $VT_{10}$ 、 $VT_{11}$  和  $VT_{20}$  构成。由于 GND 与  $VT_{16}$  间的电压是基准电压，故常温时， $R_{13}$  上的电压降不足使  $VT_{10}$ 、 $VT_{11}$  导通，故  $VT_{10}$ 、 $VT_{11}$ 、 $VT_{20}$  是截止的，对电路不起作用。当芯片的温度上升到温度保护点（如 125℃）时，由于  $VT_{10}$ 、 $VT_{11}$  的基极-发射极的导通阈值电压降低，使得  $VT_{11}$  开始导通。由于  $VT_{11}$  的导通使得  $R_{12}$  的电压降低， $VT_{11}$  触发  $VT_{10}$  开始导通，驱动  $VT_{20}$  开始导通，将输送到输出电压调整管基极的驱动电流被导通的  $VT_{20}$  分流，输出电流  $I_o$  下降。随着结温的升高， $VT_{10}$ 、 $VT_{11}$  和  $VT_{20}$  的导通加深。最终在最高温限时彻底关闭调整管  $VT_{24}$ 、 $VT_{25}$ 、 $VT_{26}$ ，从而达到过热保护的目。

(6) 输出级的实现 79 × × 系列的输出调整管仍采用多级达林顿复合连接方式（ $VT_{24}$ 、 $VT_{25}$ 、 $VT_{26}$ ）以获得在很小的驱动电流时仍有足够的输出电流能力。

## 2. 79 × × 系列集成稳压器封装形式与引脚功能

尽管 79 × × 系列也是三端集成稳压器。但是由于 79 × × 系列集成稳压器是负电压输出，而基本电路构成仍然是以 NPN 晶体管为主，电路结构与 78 × × 系列有很多不同之处，随之而来的是引脚功能的不同。图 1-7 所示为标准电流输出的 79 × × 系列的典型封装形式和引脚功能。